

- 1) Аттестуемое СИТ устанавливается в рабочей зоне ПЛ.
- 2) Устанавливается заданный уровень напряженности поля Эталона РЭМП по графикам на рис. 2-5.
- 3) Подавая импульсы напряжения на ПЛ, набираем статистику показаний аттестуемого СИТ.

Выводы.

Таким образом, графики на рис. 2 – 5 являются необходимым инструментом для проведения метрологической аттестации СИТ сериями идентичных по амплитуде импульсов электромагнитного поля.

В заключении можно отметить, что приведенные графики зависимости напряженности электрического или магнитного поля в рабочей зоне Эталона РЭМП от зарядного напряжения ИИП с успехом применялась в процессе практического опробования программ и методик государственной метрологической аттестации и методик поверки средств измерения импульсных электрических и магнитных полей, где зарекомендовали себя с лучшей стороны.

Список литературы: 1. Кравченко В.И., Немченко Ю.С. Исходный эталон Украины импульсных электрических и магнитных полей – цель создания эталона, требования к нему и его конструктивное исполнение // *Электротехника і електромеханіка*. – 2006. – №2. – С. 76-79. 2. Нейман Л.Р., Демерчан К.С. Теоретические основы электротехники. Т.1. – М., 1985. – 238 с. 3. Ковалев И.С. Конструирование и расчет полосковых устройств. – М., 1974. – 296 с.

Поступила в редколлегию 22.10.2007

УДК 621.317.3

В.С.ГЛАДКОВ, канд.техн.наук; **Л.В.ВАВРИВ**, канд.физ.-мат.наук;
А.А.ГУЧЕНКО; **А.В.ШЕСТЕРИКОВ**; НТУ «ХПИ»

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

У статті проаналізоване використання різних систем електродів, які створюють електростатичні поля для обробки трансформаторної олії. Запропоновано систему електродів для створення об'ємнопросторового високоградієнтного електричного поля.

The use of different electrode systems creating electrostatic fields for treatment of transformer oil has been analyzed in the paper. The electrode system for creation of three-dimensional high-gradient electric field was proposed.

Введение. С точки зрения физической химии трансформаторное масло (ТМ), применяемое для заполнения силового электрооборудования, является полидисперсной микрогенной системой. То есть в дисперсной среде (особенно ТМ, как смеси сложных и простых углеводородных и неуглеводородных компонентов) всегда присутствуют несколько дисперсных фаз различного характера и разной степени дисперсности [1,2]. Проще говоря, в масле присутствуют микроскопические примеси твердых, жидких и газообразных веществ. Эти примеси создают неоднородности, влияющие на протекание физических процессов в ТМ. На этом и основывается ряд методов, позволяющих зафиксировать наличие указанных примесей и оценить их количественные и качественные характеристики. Общий подход к применению некоторых из этих методов рассматривается в [3].

При приложении внешнего электрического поля в ТМ, как в любой полидисперсной микрогенной системе, наблюдаются электрокинетические явления. Частицы дисперсных фаз (твердые, жидкие и газообразные) становятся электроразряженными микрообъектами. Электрический заряд частиц согласно правилу Кена будет различным: частицы с диэлектрической проницаемостью большей (вода), чем у окружающей среды (ТМ), заряжаются положительно, а с меньшей (газ) – отрицательно [4].

На движении частиц в электрическом поле в сторону того из электродов, заряд которого противоположен по знаку их собственному, основан процесс электрофореза. В результате электрофореза в ТМ происходит сортировка и повышение концентрации определенного вида частиц вблизи электродов. Задача состоит в оптимальном выборе системы и конфигурации электродов.

Решение проблемы. Для упорядочения движения частиц применяются системы электродов различных типов, обеспечивающие определенную конфигурацию и напряженность электрического поля.

Простейшим вариантом является плоская система электродов, то есть по сути, плоский конденсатор, между обкладками которого в однородном электрическом поле находится ТМ (дисперсионная среда) с примесями (дисперсная фаза).

Однако, при экспериментах с ТМ, содержащим примеси в растворенном или мелкодисперсном состоянии, четкого разделения последних вблизи электродов не наблюдается вследствие влияния контактной перезарядки частиц примесей: заряженная частица, касаясь противоположно заряженного электрода, меняет свой заряд и движется к другому электроду. Этот процесс повторяется многократно и затрудняет процесс регистрации примесей.

Следовательно, использование систем электродов, создающих однородное электрическое поле нецелесообразно.

В неоднородных электрических полях наблюдается движение частиц

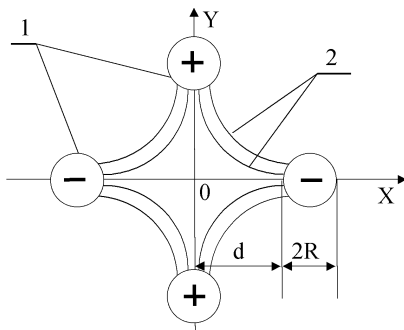
дисперсной фазы по силовыми линиям в направлении увеличения напряженности поля, где их концентрация увеличивается.

Типичным примером системы электродов, создающих такое поле, является коаксиальная система. Силы, действующие как на диэлектрические, так и на проводящие частицы различных размеров, а также характер движения этих частиц в электрическом поле коаксиальной системы электродов достаточно подробно проанализированы в [5,6]. Убедительно показано, что диэлектрические частицы с диэлектрической проницаемостью ξ большей, чем диэлектрическая проницаемость среды ξ_{cp} , будут оседать на внутреннем электроде, частицы с $\xi < \xi_{cp}$ будут оседать на внешнем электроде [5]. Что касается проводящих частиц, то они при любых размерах и любых действительных значениях ξ втягиваются в область максимального значения поля [6].

В свою очередь, увеличение концентрации частиц вблизи электродов ведет к увеличению скорости коагуляции, быстрому расслоению фаз системы. Однако, для того чтобы градиентная сила существенно влияла на процесс коагуляции, необходимо, чтобы градиент поля имел большую величину во всем объеме. А для системы коаксиальных электродов наибольший градиент поля расположен только лишь вблизи внутреннего электрода. Отсюда следует, что система коаксиальных цилиндров малоэффективна [7].

Конструкция электродов должна представлять собой объемно-пространственную систему, чтобы образовывать по всему обрабатываемому объему высокоградиентное электрическое поле.

С этой точки зрения интерес представляет система электродов, известная в электронной оптике как четырехполюсная, или квадрупольная, электростатическая линза [8] (см. рисунок).



Поперечное сечение четырехполюсной электростатической линзы:
1 – цилиндрические электроды; 2 – силовые линии электрического поля.

Напряженность электрического поля в такой системе электродов в декартовой системе координат с центром на оси симметрии определяется вы-

ражением:

$$E(X,Y) = \frac{2U}{d} \sqrt{X^2 + Y^2},$$

где d – расстояние от центра электродной системы (точка О) до электрода; X и Y – координаты.

Очевидно, что в центре системы напряженность поля равна нулю и при вертикальной ориентации электродов частица примеси, находящаяся там движется только под действием силы тяжести. Это положение крайне неустойчиво, при малейшем отклонении от нулевой точки частица начинает двигаться под действием пондеромоторной силы со стороны поля.

С точки зрения получения максимального градиента электрического поля геометрия электродной системы должна соответствовать соотношению $R = 1,10 \div 1,15 d$ [8].

В общем случае система электродов может быть не только четырехполюсной, а и любой кратной четырем.

Выводы. Таким образом, для электрических устройств обработки ТМ наиболее целесообразно использовать системы электродов типа четырех полюсной электростатической линзы, потому что такие системы позволяют получить объемно-пространственное электрическое поле с максимальным градиентами.

Если считать систему из четырех электродов элементарной ячейкой, то из таких ячеек несложно создать пространственную систему сколь угодно большого поперечного сечения. Такая система позволяет при относительно невысоких потенциалах электродов элементарных ячеек получить в большом объеме обрабатываемого ТМ пространственное распределение высокоградиентного электрического поля, что значительно увеличивает эффективность обработки ТМ.

Список литературы: 1. *Р.А.Липштейн, М.И. Шахнович* Трансформаторное масло. – М: Энергоатомиздат, 1964. – 296 с. 2. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов. – М.: Энергия, 1980. – 240 с. 3. *В.С. Гладков, А.А. Гученко, А.В. Шестериков* К определению малых количеств газов и влаги в трансформаторном масле // Вестник НТУ «ХПИ», Харьков. – 2005. – № 49. – С. 160-163. 4. *М.Г. Грановский, И.С. Лавров, О.В. Смирнов* Электрообработка жидкостей. – Л.: Химия, 1976. – 216 с. 5. *А.И. Коробко, З.И. Коробко* Математическая модель поведения диэлектрической частицы в коаксиальном электрофильтре // Труды 11-й Международной научно-технической конференции «Физическое и компьютерные технологии». – Харьков: Изд-во «ФЭД». – 2005. – 386 с. 6. *А.И. Коробко, З.И. Коробко* Математическая модель поведения проводящей частицы в коаксиальном электрофильтре // Труды 11-й Международной научно-технической конференции «Физическое и компьютерные технологии». – Харьков: Изд-во «ФЭД». – 2005. – 386 с. 7. *Г.М. Панченко, Л.К. Цобек* Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле. – М.: Химия, 1969. – 122 с. 8. *В.М. Кельман, С.Я. Явор* Электронная оптика. – Л.: Наука, 1968. – 488 с. 9. *И.А.Шукейло* Сильнофокусирующая линза с цилиндрическими полюсами // Журнал технической физики. – 1959. – Том XXIX, в. 10. – С. 1225-1227.

Поступила в редколлегию 29.10.2007